

Control de Impedancia de Sistemas Robóticos de Rehabilitación con Entradas Acotadas

Dra. Isela Bonilla Gutiérrez, Dr. Marco O. Mendoza Gutiérrez

MOTIVACIÓN.

En los últimos años se han diseñado diversos sistemas robóticos para rehabilitación, cuya eficiencia ha sido probada mediante estudios clínicos [1]-[7]. La gran mayoría de los avances logrados tienen que ver con la recuperación de la movilidad en extremidades superiores, para hombro y codo; y extremidades inferiores, para rodilla y tobillo. Sin embargo, un alto nivel de seguridad del sistema robótico resulta de gran importancia para garantizar una correcta rehabilitación y reintegración de los pacientes a su vida cotidiana.

A pesar de los grandes avances en el diseño de esquemas de control, hasta el día de hoy, los esquemas clásicos PD y PID continúan siendo utilizados en el control de robots manipuladores. En trabajos previos, se ha presentado una gran variedad de mejoras para este tipo de controladores utilizando modelos lineales o linealizados y estructuras no lineales. Sin embargo, la mayoría consideran que los actuadores del robot pueden proveer cualquier valor de par requerido, lo cual es algo imposible en la práctica. Para resolver esta problemática, se han propuesto diversos esquemas con entradas acotadas: control por retroalimentación de estados [8], control PD saturado con compensación de gravedad [9], control no lineal estático dentro de un esquema PD, Control PD por moldeo de energía [10], control por retroalimentación de salida [11], control adaptable [12], control PID saturado para regulación semiglobal [13] o regulación global [14]-[16], entre otros. Sin embargo, ninguno de estos trabajos ha abordado el problema de control de interacción y representa entonces la motivación central de este trabajo de tesis.

El trabajo de investigación de la presente propuesta tiene como problemática principal el desarrollo de esquemas de control que permitan garantizar una adecuada interacción con el paciente, así como la generación de señales de control que no saturen los actuadores, evitando la degradación del funcionamiento del sistema electromecánico e incrementando la seguridad para el paciente.

OBJETIVO

Desarrollar un esquema de control de impedancia con acciones acotadas, cuya aplicación este enfocada a sistemas robóticos que interactúen con el ser humano, con la finalidad de proveer al paciente seguridad desde el punto de vista de control.

METODOLOGÍA

El tipo de algoritmos que se proponen desarrollar en este trabajo de investigación permitirán controlar la respuesta que existe durante la interacción humano-robot, garantizando la seguridad del usuario al tomar en cuentas las restricciones físicas de los actuadores del sistema robótico. Además, se analizarán las propiedades de estabilidad de los esquemas desarrollados.

En los trabajos previos [17]-[19] se ha propuesto una metodología de diseño de controladores de impedancia con base en el método directo de Lyapunov, donde dicho enfoque de control corresponde a una generalización del control de movimiento en el espacio operacional o de tarea. La

interacción propuestos en la literatura												
Estudio de las estructuras de control con entradas acotadas propuestos en la literatura.												
Integración del esquema de control de impedancia con entradas acotadas												
Resultados experimentales												
Escritura de la tesis												

REFERENCIAS

- [1] H.I. Krebs, N. Hogan, M.L. Aisen & B.T. Volpe, "Robot Aided Neurorehabilitation". IEEE Trans. on Rehabilitation Engineering, Vol. 6, No. 1, pp. 75-87, 1998.
- [2] M.L. Aisen, H.I. Krebs, F. McDowell, N. Hogan & B.T. Volpe, "The Effect of Robot Assisted Therapy & Rehabilitative Training on Motor Recovery Following a Stroke". Archives of Neurology, Vol. 54, pp. 443-446, 1997.
- [3] M. Ferraro, J.J. Palazzollo, J. Krol, H.I. Krebs, N. Hogan & B.T. Volpe, "Robot Aided Sensorimotor Arm Training Improves Outcome in Patients with Chronic Stroke". Neurology, Vol. 61, pp. 1604-1607, 2003.
- [4] J. Stein, H.I. Krebs, W.R. Frontera, S.E. Fasoli, R. Hughes & N. Hogan, "Comparison of Two Techniques of Robot-Aided Upper Limb Exercise Training After Stroke". American Journal Physical Medicine Rehabilitation, Vol. 83, No. 9, pp. 720-728, 2004.
- [5] P. Lum, C. Burgar & P. Shor, "Evidence for Improved Muscle Activation Patterns After Retraining of Reaching Movements with the MIME Robotic System in Subjects with Post-Stroke Hemiparesis". IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 186-194, 2004.
- [6] R. Colombo, F. Pisano, S. Micera, A. Mazzone, C. Delconte, M. Carrozza, P. Dario & G. Minuco, "Robotic Techniques for Upper Limb Evaluation and Rehabilitation of Stroke Patients". IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 13, No. 3, pp. 311-324, 2005.
- [7] M. Johnson, H. Van der Loos, C. Burgar, P. Shor & L. Leifer, "Experimental Results Using Force-Feedback Cueing in Robot-Assisted Stroke Therapy". IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 13, No. 3, pp. 335-348, 2005.
- [8] R. Colbaugh, E. Barany, and K. Glass, "Global regulation of uncertain manipulators using bounded controls," in Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, Albuquerque, NM, 1997, pp. 1148-1155.
- [9] R. Kelly, V. Santibáñez, and H. Berghuis, "Point-to-point robot control under actuator constraints," Control Engineering Practice, vol. 5, no. 11, pp. 1555-1562, Nov. 1997.
- [10] I. Bonilla, F. Reyes, M. Mendoza & E. González-Galván, "A Dynamic-Compensation Approach to Impedance Control of Robot Manipulators". Journal of Intelligent and Robotic Systems, Vol. 63, No. 1, pp. 51-73, 2011.
- [11] M. Mendoza, F. Reyes, I. Bonilla & E. González-Galván, "Proportional-Derivative Impedance Control of Robot Manipulators for Interaction Tasks". Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering, Vol. 225, No. 3, pp. 315-329, 2011.
- [12] A. Zavala-Río and V. Santibáñez, "Simple extensions of the PD-with-gravity-compensation control law for robot manipulators with bounded inputs," IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 14, no. 5, pp. 958-965, Sep. 2006.
- [13] A. Loria, R. Kelly, R. Ortega, and V. Santibáñez, "On global output feedback regulation of Euler-Lagrange systems with bounded inputs," IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 42, no. 8, pp. 1138-1143, Aug. 1997.
- [14] E. Zergeroglu, W. Dixon, A. Behal, and D. Dawson, "Adaptive set-point control of robotic manipulators with amplitude-limited control inputs," Robotica, vol. 18, no. 2, pp. 171-181, Mar. 2000.
- [15] J. Alvarez-Ramirez, R. Kelly, and I. Cervantes, "Semiglobal stability of saturated linear PID control for robot manipulators," Automatica, vol. 39, no. 6, pp. 989-995, Jun. 2003.
- [16] R. Gorez, "Globally stable PID-like control of mechanical systems," Systems and Control Letters, vol. 38, no. 1, pp. 61-72, Sep. 1999.
- [17] Y. Su, P.C. Müller, and C. Zheng, "Global asymptotic saturated PID control for robot manipulators," IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 18, no. 6, pp. 1280-1288, Nov. 2010.
- [18] A. Yarza, V. Santibáñez, and J. Moreno-Valenzuela, "Global asymptotic stability of the classical PID controller by considering saturation effects in industrial robots," International Journal of Advanced Robotic Systems, vol. 8, no. 4, pp. 34-42, Sep. 2011.
- [19] M. Mendoza, I. Bonilla, F. Reyes & E. González-Galván, "A Lyapunov-based Design Tool of Impedance Controllers for Robot Manipulators". Kybernetika, Vol. 48, No. 6, pp. 1136-1155, 2012.